地工技術

水文地質學(Hydrogeology)

董家鈞*

地下水對大地工程有多重要？引用地工技術十二期「地下水問題」專輯主編的話(林耀煌，1985)：「水…是施工中最令人頭痛的東西，如果沒有地下水的問題，整部土壤力學必須改寫…。水的滲透係數…估計誤差…常達十倍百倍，其所可能帶來的困難於此可知」。從這裡不難窺見大地工程於研究土壤與岩石工程特性的同時，不能忘記水扮演的角色。

1. 水文地質學的定義

與大地工程相關的地下水問題，可涵蓋在水文地質學(hydrogeology)的專業領域中。水文地質學這個名詞首見於Mead(1919)的書中，屬水文學(hydrology)的一支。水文地質(hydrogeology)一詞乃由水(hydro)及地質學(geology)兩個字所組成，顧名思義水文地質即是研究水(含地表及地下水)與地質間之關係的一門科學，特別是研究土壤及岩層結構中之地下水分布、儲存及流動的科學。換言之，水文地質學以地質學為基礎，探索水的賦存、分布、移動及其化學特性與地質材料及地質作用(geologic material and process)間之交互影響(Fetter,1994)。水文地質學與岩石學、構造地質學、地史學、地形學、第四紀地質學以及地球化學關係密切。除此之外，水文地質學與水文學、氣象學、氣候學也極為相關。另因水文地質與工程地質同屬應用地質學(applied geology)的重要分支，兩者幾乎同時相應發展，故水文地質學與工程地質學亦有緊密的關連性。

2. 水文地質學之應用範疇

＊國立中央大學應用地質研究所水文地質學的基礎學理可應用於地下水、地熱及溫泉、礦與石油等資源開發以及地下水污染調查與整治，近年來相當熱門的核廢料貯置以及二氧化碳地下封存均亟需水文地質專業人員參與。另外，地質災害(如地層下陷、山崩、地滑與土石流等)及大地工程也經常需運用水文地質學理以解決問題。依據實際應用目的，水文地質學發展出系列分支：(1)地下水動力學：研究地下水的運動，探討地下水量、污染和熱的傳輸；(2)水文地球化學：研究化學物種(chemical species)在地下水中遷移和富集，探討地下水形成和起源；(3)水資源評估：探勘含水層分布、進行水質與水量評估；(4)礦床水文地質學：研究與採礦有關的水文地質問題；(5)農業水文地質學：研究諸如灌溉水源或地下水對耕地土壤化學特性之影響；(6)水文地熱學：研究地下熱水的形成、分布規律以及開發方法；(7)環境水文地質學：研究地下水污染、開採地下水引起地盤下陷、海水入侵、岩溶地區地面塌陷等；(8)區域水文地質學：研究地下水區域性分布和形成規律；(9)古水文地質學：研究地質歷史各時期地下水形成、分布、循環和化學成分變化。

水文地質學對於工程規設與施工均相當重要。舉例而言，東部某水庫位於大理岩地區，完工後因地下溶洞造成嚴重漏水問題；再如，某隧道開挖通過破碎帶時發現白色的高嶺土填塞於節理中，後來隨即發生大湧水，這些高嶺土是因破碎帶母岩中長石淋濾作用而產生的，並逐漸由破碎帶中心往破碎帶兩側沉積，因此，這些阻水的高嶺土可作為隧道大量湧水前的重要警示。

3. 水文地質調查、測繪與水文地質參數

水文地質測繪常在現有地形、地質圖基礎上進行。測繪底圖比例尺常為1:5,000~1:50,000(工程應用有時需要更大比例尺)。如同地質圖，不同比例尺的水文地質測繪有不同的點、線密度要求。大範圍地區或通行不易的山區進行水文地質測繪時，應先充分利用遙測影像或空中物探進行判釋與調查。衛星影像的色調，常反應了地層賦存水的情況，因此，不同季節的影像就會反應出相當的差異；再如，因水系形狀特徵反應地層與構造，故根據遙測影像判釋可有效了解地表水及

＊國立中央大學應用地質研究所

地下水與地質條件間之相互作用。另外，地球物理方法可有效瞭解沖積層、岩層與構造以及地下水空間分佈變化，近年來隨著三維成像技術之發展，工程地球物理探測於水文地質調查扮演之角色預期將愈顯重要。至於地表水文地質調查，則是依規劃路線針對地形、地貌、地質和水文地質現象(如地表水分布、滲水位置、野溪、坑溝之水量、現有水井以及利用情況等...)進行觀察與記錄，此一工作對工程的幫助甚大，翡翠水庫當年欲評估水庫是否會滲漏，工程師即詳細記錄預定蓄水庫兩側山溝湧水情況以及隨季節變化之情形，最後確認水庫滿水位以上多處坑溝均長年滲水，也就表示水庫兩側山體地下水應補助入庫而非流出。地表水文地質調查常配合試坑開挖及鑽探以採集土、岩、水樣進行有關室內試驗分析或進行簡易抽、注水試驗。最後，綜合所有觀察與推衍資料編製報告和繪製水文地質圖。依應用性不同水文地質圖可分為：(1)區域綜合性水文地質圖，反映地表水與地下水的賦存、分布、水質、水量以及動態變化等特徵，同時顯示區域地下水補注與出流條件。(2)特殊目的繪製之水文地質圖，如地下水開發潛力圖。(3)某水文地質特性的水文地質圖，如地下水水化學類型圖、等水位線圖、污染物濃度圖等。欲進一步瞭解地下水探測方法之讀者可參閱潘國樑(1990)於「地工技術」發表之文章。

70年代以後由於電腦技術的發展，數值模擬成為地下水流模擬的重要方法。然而，正如大地工程師所熟知，地質條件以及合理的「參數」常常比模型本身更重要。常用之水文地質參數包括：孔隙比或孔隙率、含水量或飽和度、水力傳導係數、儲水係數(受壓含水層水頭下降(上昇)一個單位，由於水和介質變形造成單位水平面積含水層柱體所釋放(儲存)水的體積)、導水係數(含水層的水力傳導係數與厚度的乘積)等。水文地質參數可利用室內與現地試驗獲得。此外，根據地表水與地下水長期觀測資料(如降雨、蒸發、入滲、河湖水位、河流量、地下水位、水溫、化學成分、湧水量等)，配合逆分析，常可獲取大範圍之水文地質參數。然而，不同試驗方法獲取之水文地質參數，如同大地工程參數一般也具有尺度效應，因此，將水文地質參數引入模型計算時應謹慎。

4. 水文地質學之應用未來發展趨勢

水文地質學未來發展重點將會著重在資源開發、環境保育以及災害防治之應用。近年中央地質調查所針對屏東平原進行廣泛研究，包括地下水補注量及抽水量評估、以氫氧同位素組成探討地下水補注及地下水源保護區劃定之構想。除了平原地區，地調所亦已開始推動山區水文地質測繪及探查，以建立山區的水文地質架構，了解儲水構造及儲水層之分佈、邊界條件、地下水補注源、補注量等，並探討山崩之水文地質因素。地下工程對環境之影響近年也逐漸受到重視，以曾文水庫越域引水工程為例，南水局為將隧道工程對環境影響減至最低，於隧道全面開挖前進行多項水文地質調查、分析與監測，包括地表河川流量監測、地下水位變化量測、水文地質參數研訂、隧道湧水量測、水文地質概念模式建立、廣域三維地下水流分析等。雪山隧道施工中亦曾進行導坑湧水調查，項目包括：溪流流量監測與分析、補充鑽探、隧道沿線地下水位(壓)長期觀測與分析、地下水同位素定年分析(C14及H3)、破碎岩體(湧水帶)水文地質參數研析等。隧道完工通車後，亦沿導坑設置監測斷面進行多點監測，以掌握各區段個別湧水流量，並設置量水井監測隧道湧水總量，以瞭解湧水量之變化並掌握其對環境之影響程度。上述案例讀者可參閱本期兩篇專文。

致謝

本文承蒙中央大學應用地質研究所李錫堤教授與陳瑞昇教授以及中興顧問公司侯秉承經理協助提供建議，特此致謝。

參考文獻

林耀煌(1985)，「編者的話」，地工技術，第12期，pp.3。

潘國樑(1990)，地下水之探測、觀測與監測，地工技術，第31期，pp.42-63。

FETTER, C.W. (1994), Applied hydrogeology, 3rd ed., Macmillan, New York.

MEAD, D.W.(1919), Hydrology, the fundamental basis of hydraulic engineering, 1st ed., McGraw-Hill, New York.